

Jussi-Pekka Yli-Renko

Viisteplasmaleikkauskoneen käyttöönotto

Opinnäytetyö

Syksy 2014

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Jussi-Pekka Yli-Renko

Työn nimi: Viisteplasmaleikkauskoneen käyttöönotto

Ohjaaja: Kitinoja Kimmo

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 44

Liitteiden lukumäärä: 1

Tämän opinnäytetyön aiheena oli uuden laitteiston käyttöönotto Ferrum Steel Oy:n tuotantotiloissa Seinäjoella. Työn lähtökohtana oli käytöstä poistuvan plasmaleikkauslaitteiston korvaaminen uudella viisteplasmaleikkauslaitteistolla. Työn tavoitteena oli tutkia ja määrittää teknologialle soveltuvat menetelmät ja parametrit. Tavoitteisiin pääsemiseksi työn olennainen osa oli tutustua uuden laitteiston ominaisuuksiin sekä tutkia ja testata niitä tuotantokappaleisiin. Osana opinnäytetyötä oli yrityksessä käytössä olevien viistämismenetelmien keskeisimpien ominaisuuksien tutkiminen. Tutkimuksien tuloksia käytetään työpisteiden kuormituksessa eri viistämismenetelmillä.

Alkuvaiheilla työn päämääränä oli laitteiston saattaminen ensin leikkaamaan perinteisiä tuotantokappaleita, minkä jälkeen perehdyttiin viisteominaisuuksiin. Plasmaleikkauskoneella viisteytys aloitettiin nestausohjelmien päivittämisellä tukemaan viistetyökalua. Viistetyökalun käyttöönotto suoritettiin yhteistyössä asennushenkilöstön, ohjelmistotoimittajan sekä yrityksen nestaushenkilöstön kanssa. Viisteominaisuuksien tutkimisessa leikattiin sekä yksinkertaisia testikappaleita että asiakkaiden monimuotoisia geometrioita. Testien perusteella luotiin viisteplasmaleikkauksen ohjaukseen käyttöohjeet, josta löytyvät perusteet yleisimpien viisteiden leikkaamiseen levynleikkauksen yhteydessä. Koeleikkauksista saatuja tuloksia käytetään tuotannonsuunnittelussa sekä leikkausratojen luomisessa. Yritykseen hankitulla viisteplasmaleikkauskoneella voidaan leikata seostamatonta terästä aina 50 mm levynpaksuuteen saakka sekä viisteitä, joiden maksimikulma on 50°. Viisteet voidaan leikata suoraan levynleikkauksen yhteydessä tai jälkikäteen paikoittamalla kappaleen geometria leikkauskoneeseen optisella kameralla.

Avainsanat: viiste, polttoleikkaus, plasma

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Jussi-Pekka Yli-Renko

Title of thesis: Introduction of the plasma bevel cut machine

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2014

Number of pages: 44

Number of appendices: 1

The subject of this thesis was the introduction of the new production machinery at the Ferrum Steel Oy factory located in Seinäjoki. The starting point was to replace the old used plasma cutting machine with a new bevel plasma cutting machine. The aim was to research and define the methods and parameters for the new cutting technology. The main subject was to get to know the features of the machinery and both to study and test them with the product parts. A part of the thesis was to study the former beveling methods used in the factory in order to compare them. The results of this examination are used as distributing the beveling work load.

At the start of the project the main object was to get the machinery working and running in order to cut the former common product parts and the second object was to get to know the beveling features. The first part of beveling with the plasma cutting machine was to upgrade the CNC software used to program the cutting tracks with the bevel cutting features. The introduction of the plasma bevel tool was done as a cooperation with the assembly crew, program developer and the CNC programming crew of the company. Both the simple geometries and multiform product parts were cut during the tests of the beveling properties. As a result of these tests the user handbook was made along with the instructions how to make the common bevel cuts with the machinery and programs used in the company. The test results are used in the production planning and programming of the CNC cutting tracks. The plasma bevel cut machine acquired in the factory can cut mild steel for up to 50 mm sheet thickness and enables the bevel cutting with a torch tilting up to 50°. The bevels can be cut during the common sheet cutting process or afterwards by using the optical camera to position the part geometry.

Keywords: bevel, oxycut, plasma

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite	8
1.3 Työn rakenne	8
1.4 Menetelmät	9
1.5 Yritysesittely	9
2 VIISTEYTYS	10
2.1 Mekaaninen viiste	10
2.1.1 Sähkökäyttöinen hitsausviistekone	10
2.1.2 Viistekone	11
2.1.3 Koneistuskeskus ja manuaalikoneet	12
2.1.4 Yhteenveto mekaanisista viistemenetelmistä.....	12
2.2 Polttoviiste.....	12
2.3 Plasmaviiste	14
2.4 Laserviiste	14
2.5 Plasmaleikkausteoriaa	15
3 MICROSTEP MG VIISTEPLASMALEIKKAUSKONE	19
3.1 Plasmaleikkauksen ominaisuudet	19
3.2 Leikkausjälki ja tarkkuus	21
3.3 Juuripinta plasmaleikkauksessa.....	23
4 LEIKKAUSRADAN LUOMINEN (NESTIX & ASPER)	25
4.1.1 Parts – Piirtopuoli.....	25
4.1.2 Nest – Sijoittelu	27
4.1.3 Flame – Leikkausradan luonti	28
4.2 Asper-ohjelmisto	29

5	LEIKKAUSJÄLKI.....	32
5.1	Laatutoleranssit.....	32
5.2	Koekappaleiden leikkaus	33
5.3	Jälkiviiste optisen kameran avulla	36
5.4	Plasmaviisteen leikkausjäljen yhteenveto	37
6	TULOKSET	38
6.1	Vertausarvot.....	38
6.1.1	Mekaaninen viiste	38
6.1.2	Polttoviiste.....	39
6.1.3	Plasmaviiste.....	39
6.2	Kameraviiste	39
6.3	Viisteytyksen läpimenoaika	40
7	YHTEENVETO.....	41
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	45

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Yrityksessä käytössä oleva Messer Griesheim- polttoviistekone.	13
Kuvio 2. Hypertherm® plasmaleikkauspolttimen kulutusosat. (Hypertherm 2013.)	16
Kuvio 3. Microstep MG viisteplasmaleikkauskone.	19
Kuvio 4. Viistetyylit.	26
Kuvio 5. Kuvassa esiintyy viistettäviä kappaleita, leikkausradalla (vas.) ja ilman rataa (oik.).....	28
Kuvio 6. Kappalegeometrian skannausta optisella kameralla.	31
Kuvio 7. 25 mm teräslevy jossa 50° viisteet molemmissa reunoissa.	33
Kuvio 8. Pyöreä Ø100 mm viisterekä. Materiaalin vahvuus 25 mm, viisteen kulma 45°.	34
Kuvio 9. Sisäkulmaan päättyvä viiste. Juuri 3 mm, viistekulma 30°, materiaalinpaksuus 15 mm.	35
Kuvio 10. Kameralla viistetty esittelykappale.	36
Taulukko 1. Plasmaleikkauskoneen kulutusosien vaihtoväli. (Mattila & Lakso, 1997.).....	16
Taulukko 2. Leikkausvirrat leikattavan materiaalin paksuuden mukaan. (Hypertherm 2013.).....	21
Taulukko 3. SFS-EN ISO 9013:ssa esitetyt sallitut eromitat plasma-, ja polttoleikkauksessa toleranssiluokassa 1.	32
Taulukko 4. SFS-EN ISO 9013:ssa esitetyt sallitut eromitat plasma-, ja polttoleikkauksessa toleranssiluokassa 2.	32

Käytetyt termit ja lyhenteet

Jäyste	Termisen leikkauksen yhteydessä syntyvä sivutuote. Muita käytettyjä nimikkeitä oksidikerros ja kuona.
Nestaus	Leikkaavien NC-koneiden leikkausradan luonnista käytetty termi.
CAM	Tietokoneavusteinen valmistus (Computer-Aided Manufacturing).

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Lähtökohtana opinnäytetyölle oli vanhan käytöstä poistuvan plasmaleikkauskoneen vaihto uuteen MicroStep MG -viisteplasmaleikkauskoneeseen. Uuden koneen myötä plasmaleikkaustyövaiheeseen tuli esituotannollisia sekä tuotannollisia muutoksia, joiden käyttöönotosta kehittyi opinnäytetyön aihe. Uutena ominaisuutena tuli päivitetyn käyttöjärjestelmän lisäksi kääntyvä polttopää, jolla pystytään leikkaamaan viisteet kappaleisiin jo suoraan leikkausvaiheessa. Lisäksi uudesta koneesta löytyy optinen konenäkökamera, jolla pystytään lukemaan kappaleen geometriat polttopöydältä käyttöjärjestelmään ja näin ollen leikkaamaan viisteet myös jälkikäteen tarkasti ja nopeasti.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on viisteplasmaleikkauskoneen leikkausmenetelmien, ohjelmointiparametrien sekä toimintatapojen määrittäminen. Lisäksi työssä käsitellään yrityksessä käytössä olevia viisteentyöstömenetelmiä ja verrataan niistä saatavia hyötyjä viisteplasmaleikkaukseen. Vertailusta saatavia tuloksia käytetään kuormituksen jakamiseen eri viistemenetelmien välillä.

1.3 Työn rakenne

Työssä esitellään laitteisto, jonka ympärille opinnäytetyö rakentuu, sekä ohjelmisto, jolla leikkaustuloksiin voidaan vaikuttaa. Lisäksi työssä käydään läpi koekappaleiden leikkauksesta rakentuva aineisto sekä tutkitaan vaihtoehtoisia menetelmiä, joilla kappaleita on ennen uutta laitteistoa viistetty. Työ on rajattu koskettamaan yrityksen tiloissa käytössä olevan konekannan mahdollistamia tuotantomenetelmiä.

1.4 Menetelmät

Plasmaleikkaustyöhön ja termiseen leikkausmenetelmiin löytyy laajalti teoriakirjallisuutta. Lisäksi työssä on käytettävänä leikkausohjelmistojen ja laitteiston käsikirjoja. Laitteiston ja ohjelmiston lähdetietoihin käytetään valmistajien ja toimittajien julkaisuja. Tulokset saavutetaan yhteistyössä leikkaajien, nestäajien, huoltohenkilöstön ja ohjelmistotoimittajan avulla. Leikkauslaadun parantaminen suoritetaan eri menetelmiä testaten koekappaleisiin. Leikkauspinnan laadunmittaukseen käytetään SFS EN-ISO 9013 mukaisia mittaustyökaluja sekä toleranssitaulukkoja.

1.5 Yritysesittely

Ferrum Steel Oy on teräksen esikäsittelyyn erikoistunut yritys, jonka toimipaikka sijaitsee Seinäjoella Kapernaumin teollisuusalueella. Yrityksen toimialaan kuuluvat muun muassa levynleikkaus, taivutus, koneistus, hitsaus ja lämpökäsittely. Alkujaan yritys on aloittanut toimintansa vuonna 2005 Ilmajoella, josta nykyisiin toimitiloihin on siirrytty vuonna 2007. Muuton jälkeen toimitiloihin on suoritettu laajennus 2011, sekä uusia tuotantotiloja hankittiin viereisestä kiinteistöstä vuonna 2012. Nykyään kiinteistöjen yhteenlaskettu pinta-ala on noin 6150 m² sekä tonttien pinta-ala noin 35 000 m². Konekanta kattaa muun muassa 7 leikkaavaa konetta, 2 särmäyspuristinta, 2 koneistuskeskusta, hehkutusuunin sekä sinkopuhalluslinjan. Vuoden 2012 liikevaihto oli noin 10,3 miljoonaa euroa ja henkilöstön määrä noin 50.

2 VIISTEYTYS

2.1 Mekaaninen viiste

Mekaanisella viisteellä tarkoitetaan pääasiassa kappaleen reunan murtamista nakertamalla. Nakertaminen on tehokas ja nopea menetelmä ohuiden ja keskipaksujen, vahvuudeltaan 4 – 12 mm, materiaalien viistämiseen. Nakerrusjälki on menetelmästä ja materiaalista riippumatta rosoinen ja vaatii jälkikäsittelyä kulmahiomakoneella (Ferrum Steel 2013c). Yrityksessä käytetään kahta eri toimintaperiaatteeltaan toimivaa nakerruskonetta. (Ferrum Steel 2013a.)

Mekaanisiin viistämismenetelmiin luetaan myös sorvaaminen ja jysintä. Sorvaaminen on lastuavista valmistusmenetelmistä kaikkein yleisin. Sorvauksessa työstettävä kappale kiinnitetään sorvinkoneen pyörivään karaan. Sorvinterää ohjataan syöttöarvoin kappaleeseen lastun poistamiseksi. Kappaleen jysintä eroaa sorvaamisesta sillä, että jysinnässä kappale on kiinnitetty kiinteään penkkiin ja siitä poistetaan lastua akselinsa ympäri pyörivällä työkalulla. (Aaltonen & Piispanen 2009, 150–174.)

2.1.1 Sähkökäyttöinen hitsausviistekone

Sähkökäyttöinen hitsausviistekone eli käsinakertaja on käsityökalu, jonka käyttöperiaate perustuu ohuempien peltien reunan murtamiseen mekaanisella voimalla. Käsinakertajia on saatavana myös hydraulis- ja paineilmakäyttöisenä. Käyttö tapahtuu kiinnittämällä työstettävä kappale tukevasti työpöytään, niin että kappaleen reuna tulee pöydän ylitse. Työstettävä kappaleen reuna asetetaan nakertajassa sijaitsevien leukojen väliin, jossa sijaitseva työkalu murtaa levyn reunan asetettuun kulmaan. Nakertajaan asetetaan haluttu juurenpaksuus, sekä viistekulma. (Trumpf 2013.)

Yrityksessä käytetään TRUMPF TruTool TKF 1500- käsinakertajaa, jonka ominaisuudet ja käyttötarkoitukset ovat seuraavat:

- kaikkien K-, V-, X- ja Y-muotoisten hitsausviisteiden valmistus portaattomasti säädettävillä viistekulmilla ja viistepituuksilla
- tasaisten, hapettumattomien, käsittelemättömien hitsausviisteiden muovaus teräs-, ja alumiinimateriaaleihin
- erittäin lujien materiaalien työstö
- suorien ja kaarevien reunojen viistäminen. Sisäkäyrän säteen tulee olla vähintään 55 mm
- tasaisten ja kaarevien, sisähalkaisijaltaan vähintään 100 mm työkappaleiden, kuten putkien, reunojen viistäminen
- reunojen viistäminen molempiin suuntiin. Viistäminen voidaan aloittaa ja lopettaa mistä tahansa kohtaa levyä
- reunojen viistäminen mahdollista normaaliasennon lisäksi myös ylösalaisin. Tästä johtuen X- ja K-viisteitä tehdessä kappaleen kääntäminen ei ole välttämätöntä
- valmistajan osoittama työnopeus käsinakertajalle 2 m/min. (Trumpf 2013.)

2.1.2 Viistekone

Erityisesti pidempien kappaleiden viistämiseen sovelletaan Pullmax X97-viistekonetta. Pullmax X97- toiminta perustuu viisteen leikkaamiseen koneessa sijaitsevalla pyörivällä kiekkomaisella työkalulla. Työkalun leikkauskorkeutta ja kulmaa säätämällä voidaan asettaa leikattava viistekulma ja juuripinnan paksuus. Pyöriessään työkalu vetää työstettävää kappaletta itseään kohden, jolloin syöttö tapahtuu automaattisesti. Valmistajan osoittama suurin työstönopeus viisteen tekemiselle on 3,1 m/min. Työstönopeus on käsinakertajaa suurempi, jolloin myös leikkausreunassa on vähemmän rosoisuutta. PullMax X97 on varustettu molemminpuolisilla liukuhihnoilla kappaleensyötön nopeuttamiseksi viistekoneeseen. (PullMax 2009.)

2.1.3 Koneistuskeskus ja manuaalikoneet

Sorvaaminen ja jyrsiminen ovat työstömenetelminä yleisiä, mutta hitsausviisteiden tekemiseen harvinaisia. Menetelmiä käytetään viistämiseen pääasiassa tarkkuuden ja moniulotteisuutensa vuoksi. Hitsausviisteiksi lastuavilla menetelmillä viistäminen katsotaan ylilaadun tuottamiseksi, josta aiheutuvat ylimääräiset kustannukset eivät hyödytä tekijäyritystä eivätkä tilauksen tehnyttä asiakasta. Sorvaus tapahtuu kappaleesta ja lukumäärästä riippuen automaattisorvilla tai manuaalikoneella. Jyrsintä suoritetaan koneistuskeskuksella. Yrityksen konekanta kattaa kaksi koneistuskeskusta, Johnfordin mallin VMC-2000SHD sekä pienemmän Dah Lih:n mallia MCV-1250 (Ferrum Steel 2013a). Jyrsimällä päästää tavallisesti IT8–IT9 mittatarkkuuksiin ja $R_a \approx 5\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ pinnankarheuteen. (Aaltonen & Piispanen 2009, 150–174.)

2.1.4 Yhteenveto mekaanisista viistemenetelmistä

Käsinakertaja ja viistekone ovat laitehankintakustannuksiltaan edullisia, sekä niillä saavutettu työnjälki on vastaavaa tai parempaa kuin muillakin menetelmillä. Viistekoneen merkittävimpiä etuja ovat työnopeus ja tasainen työnjälki. Käsinakertaja on menetelmistä kaikkein edullisin sekä myös melko monikäyttöinen. Menetelmien heikkoutena on työkoneiden ulottuvuus tiukkoihin säteisiin ja kulmiin. Paksumpien materiaalien kohdalla maksimi viisteen pituus sekä työstetty pinnanlaatu jäävät muita menetelmiä alhaisemmaksi. Sorvaamalla ja jyrsimällä päästään muita menetelmiä suurempiin tarkkuuksiin ja pinnanlaatuihin, mutta ne vaativat myös muita menetelmiä suurempia laiteinvestointeja. (Aaltonen & Piispanen 2009, 150–174.)

2.2 Polttoviiste

Polttoviisteiden tekoon yrityksessä käytetään kaasuleikkauslaitteistoa (kuvio 1). Polttoleikkaus on terminen leikkausmenetelmä, joka soveltuu useimpien teräslaatujen leikkaukseen. Menetelmässä leikattava materiaali kuumennetaan

paikallisesti syttymislämpötilaansa ja siihen suunnataan puhtaasta hapesta muodostunut kaasusuihku. Leikkausrailoon syntynyt sula metallioksidi poistetaan hapen kineettisellä energialla. (Aromäki 2009, 261.)

Perinteiseen suoraan polttoleikkaukseen yrityksessä käytetään porttaalityyppisiä CNC-polttoleikkauskoneita, joissa ei ole viisteominaisuuksia. Polttoviistemenetelmään yrityksessä käytetään viistetyypistä riippuen Messer-polttoleikkauskonetta, jossa leikkauspillit voidaan kääntää mielivaltaisesti tavoiteltuun astekulmaan. Kaarevaa tai monimuotoista viistettä voidaan leikata käsipilliä ohjaavalla viisteleikkauskelkalla.



Kuvio 1. Yrityksessä käytössä oleva Messer Griesheim- polttoviistekone.

Polttoleikkauksesta syntyy muihin termisiin leikkausmenetelmiin verrattuna suurempaa lämpölaajenemista leikattavissa kappaleissa. Mattila & Lakso (1997, 55) toteaa, ettei leikkausmenetelmä tämän vuoksi täytä robottihitsauksen asettamia tarkkuusvaatimuksia. Polttoleikattu pinta tulee käsitellä hiomalla tai hiekkapuhaltamalla hitsausta varten leikkausmenetelmästä syntyvän oksidihilseen vuoksi.

2.3 Plasmaviiste

Plasmaviisteellä tarkoitetaan leikkauskoneella suoraan levynleikkauksessa tapahtuvaa kappaleiden viistämistä. Plasmaviisteet tehdään yritykseen hankitulla uudella plasmaleikkaukskoneella, jonka viistämismenetelmistä tämä opinnäytetyö koostuu. Viisteiden leikkaaminen koneella on mahdollista myös jälkikäteen optisella kamerapäällä, jolla kappalegeometria luetaan konenäköjärjestelmään. Saavutettavia etuja viisteplasmalla ovat viisteen tekemiseen käytetty tuotannon läpäisy aika, epäsäännöllisten ja pitkien muotojen leikkaus sekä viisteteknologian toistettavuudesta aiheutuvat työaikasäästöt. (Hypertherm 2013.) Muilla menetelmillä muotoviisteen leikkaus on liki mahdotonta, tai ainakin tehokkaan tuotannon kannalta kannattamatonta. Haittapuolia ovat suuremmat leikkaussuutinkulut, levyntarpeesta johtuvat leikkausmateriaalikulut sekä muita menetelmiä suuremmat laatuerot. (Mattila & Lakso 1997, 33–41).

Plasmaviistäminen vaatii tarkempaa leikkausteknologian ohjelmointia ja toisinaan kappalegeometrian muokkausta teknologialle soveltuvaksi. Useassa kerroksessa olevat viisteet kappaleen samalla sivulla vaativat useita päällekkäisiä leikkauskertoja, jolloin myös virhemarginaali kasvaa. Leikkauskoneelta vaaditaan perinteiseen suoraan leikkaukseen verrattuna enemmän, sillä virransäätö ja leikkausnopeus tulee seurata optimaalisia leikkausarvoja itsenäisesti. (Messer 2013.)

2.4 Laserviiste

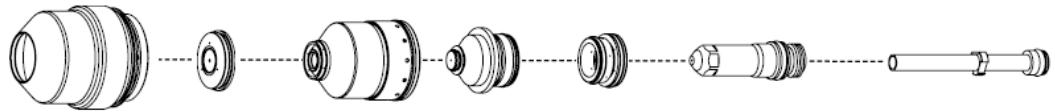
Yrityksessä ei ole käytössä laserviistelaitteistoa. Tämän työn aiheena on yrityksessä käytössä olevat viistemenetelmät, jonka vuoksi laserviistettä ei käsitellä syvemmin. Vertauksen vuoksi tähän kappaleeseen on koottuna laserviisteen keskeisimmät ominaisuudet. Laserleikkaus on termisistä leikkausmenetelmistä tarkin sekä myös laitteistokustannuksiltaan kallein. Menetelmällä leikatut pinnat ovat suoria ja mittatarkkoja, leikattavien kappaleiden mittatarkkuus on noin 0,15 mm. Yrityksen 4000 W:n laitteistolla leikattava maksimi materiaalin vahvuus hiiliteräkselle on 25 mm, joka on muita termisiä menetelmiä

alhaisempi (PrimaPower 2013). Lämmöntuonti leikattaviin kappaleisiin on myös muita menetelmiä alhaisempi, jolloin lämpövääntymistä aiheutuvat toleranssiheitot ovat pienempiä.

2.5 Plasmaleikkausteoriaa

Plasmaleikkaus on kehittynyt plasmahitsauksesta. Ensimmäiset plasmaleikkauskoneet on otettu teolliseen käyttöön 1950-luvun lopulla, minkä jälkeen ne ovat käyneet läpi monta kehitysvaihetta. Alkuvaiheen plasmaleikkauskoneet olivat leikkaustyökoneena melko kalliita ja epätarkkoja. Suuren suosion plasmaleikkauslaitteisto saavuttikin vasta 1980-luvulla, jolloin ohjaus kehittyi NC-teknologian myötä. Nykyajan hienosuihkuplasmaleikkauskoneet ovat laadultaan tarkkoja, ympäristö- ja käyttäjäystävällisiä sekä kustannustehokkaita. (Aromäki 2009, 261.)

Plasma on yksi aineen olomuodoista, joka koostuu elektroneista ja positiivisesti varautuneista ioneista. Plasmaa syntyy, kun osittain dissosioitunutta sekä ionisoitunutta kaasua kuumennetaan erittäin korkeissa lämpötiloissa, jolloin siitä tulee sähköisesti varautunutta. Syntyneellä plasmakaasulla on korkea lämpötila sekä kineettinen energia. Plasmakaasu johdetaan plasmaleikkauksessa leikkauspäässä sijaitsevan elektrodin ja leikattavan materiaalin välille syntyneeseen valokaareen eli plasmakaareen. Leikkauspäässä sijaitseva suutin kuristaa virtaavaa plasmakaasua, jolloin plasmakaaresta tulee keskittyneempi ja kuumempi. Plasmakaaren lämpötila on noin 25 000 °C. Syntynyt plasmakaari sulattaa leikattavaan materiaaliin railon, jota ohjaamalla materiaalista voidaan leikata halutun muotoista geometriaa (Aromäki 2009, 263–264). Leikkauspäätä kuljetetaan levyn pinnalla kahden samanaikaisesti liikkuvan vaaka-akselin avulla, joita ohjataan ISO-koodilla tai tästä hieman poikkeavalla ESSI-formaatilla. Paremman levyn käyttösuhteen saavuttamiseksi kappaleiden leikkausohjelma luodaan erillisellä nestaus-ohjelmalla, jolla koneen liikerata myös postataan, eli käännetään, halutulle ohjelmointikielelle (TSV Insinöörit Oy 1998, 8–10.)

Mild steel

	Shield cap	Shield	Nozzle retaining cap	Nozzle	Swirl ring	Electrode	SilverPlus electrode	Water tube
30 A	220747	220194	220754	220193	220180	220192	—————	220340
50 A	220747	220555	220754	220554	220553	220552	—————	220340
80 A	220747	220189	220756	220188	220179	220187	—————	220340
130 A	220747	220183	220756	220182	220179	220181	220665	220340
200 A	220637	220761	220757	220354	220353	220352	220666	220340
260 A	220637	220764	220760	220439	220436	220435	220668	220340
400 A	220637	220636	220635	220632	220631	220629	—————	220571
80 A bevel	220637	220742	220845	220806	220179	220802	—————	220700
130 A bevel	220637	220742	220740	220646	220179	220649	—————	220700
200 A bevel	220637	220658	220845	220659	220353	220662	—————	220700
260 A bevel	220637	220741	220740	220542	220436	220541	—————	220571
*260 A bevel	220637	220897	220896	220898	220436	220899	—————	220571
400 A bevel	220637	220636	220635	220632	220631	220629	—————	220571

* Recommended for use if you have a problem with excessive slag, or problems with the torch misfiring, when using standard bevel consumables.

Kuvio 2. Hypertherm® plasmaleikkauspolttimen kulutusosat. (Hypertherm 2013.)

Plasmaleikkauspoltinta ja sen kulutusosia esitetään kuviossa 2. Leikkauspään kulutusosat ovat pääasiassa kuparisia ja keraamisia. Käytössä on myös muita materiaaleja, kuten esimerkiksi HyperTherm™:n markkinoimat SilverPlus® -elektrodit, jotka ovat perinteisiä kuparielektrodeja pidempi-ikäisiä. Käyttöikään vaikuttavia tekijöitä ovat pääasiassa aloitusten lukumäärä ja lopetustyyli. Taulukossa 1 on luetteloitu Suomen Teknohausin esittämät tavallisessa tuotantokäytössä olevan hienosuihkuplasman kulutusosien arvioidut kestoajat.

Taulukko 1. Plasmaleikkauskoneen kulutusosien vaihtoväli. (Mattila & Lakso, 1997.)

Osa	Kestoaika
Suutin ja elektrodi	5 ... 8h
Suuttimen suojahattu	Viikoittain
Pyörrerengas	Viikoittain
Suojakilpi	Kuukausittain

Hienosuihkuplasman käyttökustannukset muodostuvat pääasiassa kulutusosien tiheästä vaihtovälistä. Perinteiset suuttimet ja elektrodit kestävät leikkauspituudesta ja leikattavasta materiaalista riippuen noin 800–1000 aloituspistoa (Mattila & Lakso 1997), kun taas kehittyneemmät uudet elektrodit saattavat kestää jopa tuplasti kauemmin. Viistesuuttimissa on erilainen kuristus kaaren suuntaamiseksi kuin perinteisillä suoran leikkauksen suuttimilla. Viistesuuttimien käyttöikä on myös huomattavasti lyhyempi kuin perinteisten suuttimien. Tämä johtuu siitä, että viistettäessä leikkauskaari on useasti jo leikatun leikkausrailon päällä, jolloin leikkauskorkeus ei ole optimaalinen. Viistesuuttimien vaihtoväliksi yrityksessä on havaittu noin 75–500 lävistystä leikkausvirrasta ja leikkaustyylistä riippuen. Suuttimen kestoikää pystytään parantamaan seuraavin tavoin:

- Paineilman laatu tulisi olla mahdollisimman puhdasta ja kuivaa eikä siinä saisi olla öljyä.
- Paineilman paineen pitäisi vastata sille asetettuja tavoitearvoja mahdollisimman tarkasti. Liian suuri paine aiheuttaa elektrodien ennenaikaista kulumista. Liian alhainen paine saattaa aiheuttaa toimintahäiriön kesken leikkauksen, jolloin leikkauskaari sammuu.
- Suuttimen etäisyys leikattavasta materiaalista tulisi olla aina välillä 1,6–3,2 mm.
- Käytetään mahdollisimman pientä leikkausvirtaa leikattavan materiaalin paksuuteen nähden. Seurauksena alemmilla leikkausvirroilla leikatessa on että leikkausnopeus on hieman alhaisempi, joskin kulutusosien käyttöikä on merkittävästi pidempi.
- Valokaaren polttaminen ilmassa lyhentää kulutusosien käyttöikää merkittävästi ja saattaa joissakin tapauksissa jopa aiheuttaa kaksoiskaaren syntymisen polttimen ja levyn välille, jolloin suutin yleensä rikkoutuu.

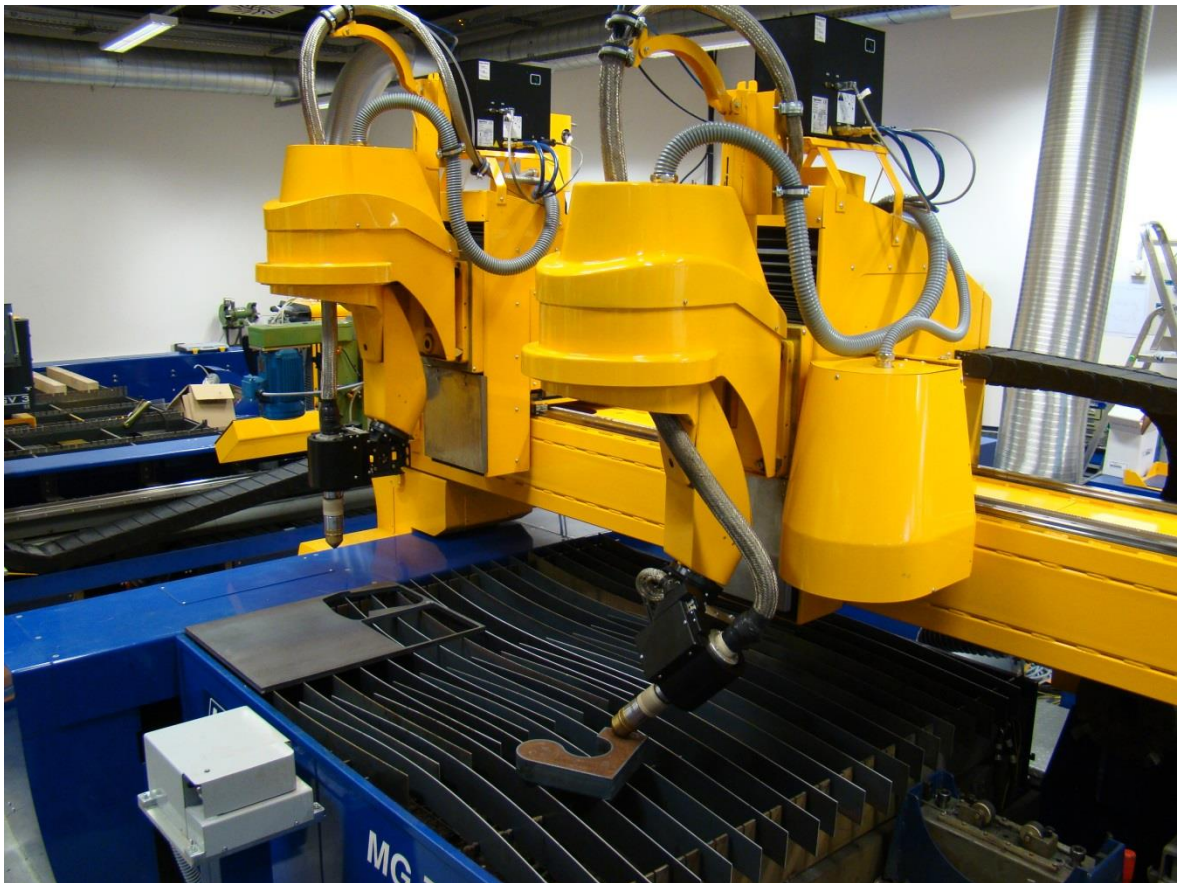
Plasmaleikkauksen suurimmat hyödyt tulevat suurista leikkausnopeuksista ohuemmilla ja keskipaksuilla materiaaleilla ja lisäksi plasmalaitteistolla voidaan

leikata materiaaleja, joihin muut termiset leikkausmenetelmät eivät pysty. Plasmaleikkausprosessilla voidaan leikata kaikkia sähköä johtavia materiaaleja. Sulattavan kaaren plasmaleikkauksella voidaan leikata myös sähköä johtamattomia materiaaleja, jolloin leikkausnopeus on huomattavasti pienempi leikkaussuuttimen toimiessa anodina. Merkittävimpiä haittatekijöitä muihin termisiin leikkausmenetelmiin verrattuna ovat heikompi leikattavien kappaleiden mittatarkkuus, suuret käyttö-, ja hankintakustannukset (etenkin usean työkaluaseman laitteistoissa) sekä työympäristölliset haitat, kuten melu ja leikkauspöly. Käytössä on myös veden alla leikkaavia vesiplasmaleikkauskoneita, jotka ovat huomattavasti tavallista plasmaleikkauskonetta käyttäjäystävällisempiä. Plasmalla leikattujen kappaleiden tunnusmerkkejä ovat erityisesti reikien soikeus 8 mm ja paksummilla materiaaleilla sekä leikkausreunan vinous (noin 2–3°). Uudet leikkauskaasun virtaamista ohjaavat järjestelmät ja entistä tehokkaammat suuttimet ovat jo pystyneet parantamaan plasman leikkauslaatua, mutta tarkkuudessa plasma ei vielä pärjää laserteknologialle. (Aromäki 2009, 264.)

3 MICROSTEP MG VIISTEPLASMALEIKKAUSKONE

3.1 Plasmaleikkauskoneen ominaisuudet

Laitteiston kehittäjä ja valmistaja on vuonna 1991 toimintansa aloittanut slovakialainen yritys MicroStep, spol. s r.o., jonka tuotteita Suomeen maahantuo FredEx Oy. Maahantuonnin lisäksi yritys myy ja huoltaa edustamiensa valmistajien metallintyöstökoneita. Yritykseen hankittu viisteplasmaleikkauskone on MicroStepin MG- malli, jonka työkaluasemaa havainnollistetaan kuviossa 3.



Kuvio 3. Microstep MG viisteplasmaleikkauskone.

Leikkauskone on varustettu 5-akselisella kallistuvalla polttimella, joka mahdollistaa viisteiden luomisen leikattaviin kappaleisiin. Polttimen maksimi kallistuvuus on A-akseliin suuntaan $\pm 50^\circ$, B-akselin suuntaan liike on rajoittamaton. Kallistuvalla

polttimella on mahdollista leikata profiloituja palkkeja, putkipalkkeja sekä perinteistä suoraa levymäistä muotoa. Valmistajan mukaan koneeseen voidaan asentaa jopa 8 työkaluasemaa, jolloin leikattava levy voidaan jakaa eri osioihin ja leikata useita kappaleita samaan aikaan (Microstep 2013). Yleensä koneet varustetaan kuitenkin vain 1–2 työkaluasemalla, sillä plasmaleikkauskoneilla harvemmin saavutetaan kaasuleikkauskoneiden kaltaista hyötyä useasta poltinpäästä. Lisäksi laitekustannukset tulevat nopeasti vastaan, sillä jokainen työkaluasema vaatii oman virtalähteen. (Aromäki 2009, 265.)

Koneen työskentelyala on koko leikkauspöydän leveys ja pituus, eli 3500 x 13500 mm. Iso leikkauspöytä mahdollistaa erityissuurten kappaleiden leikkaamisen yhdestä palasta. Leveyden ansiosta yleisiä 1500 mm leveitä levyjä mahtuu pöydälle kerrallaan vierekkäin kaksi, joka vähentää leikattavien kappaleiden purkamisesta aiheutuvia odotusaikoja.

Automaattinen kaasukonsoli pitää leikkauskaasun painearvot optimaalisella tasolla, mikä pidentää suuttimien käyttöikää. Perinteisellä menetelmällä merkkaukset suoritetaan yleensä ohjelman alussa, jolloin ongelmana esiintyy lämpövaikutuksien johdosta tapahtuvaa kappaleiden liikkumista levyllä. Merkkaustapahtumassa automaattinen kaasukonsoli vaihtaa merkkauksarvot ja vaihtaa kaasut ilman, että leikkaustapahtuma keskeytyy. (Hypertherm 2013.)

Koneen virtalähde on 400 ampeerin tehoinen Hyperthermin® malli HPR400XD. Virtalähde on suunniteltu täyspäiväiseen tuotantoon nykyaikaisilla ominaisuuksilla, jotka parantavat hienosuihkun leikkauslaatua ja pidentävät kulutusosien käyttöikää entisestään. (Hypertherm 2013.)

Läpäisy ja leikkausteho:

- Hiiliteräs
 - puhdas jäysteetön pinta aina 38 mm materiaalin vahvuuteen saakka
 - suurin materiaalin vahvuus lävistettäessä 50mm
 - reunalähdöllä tai esilävistettynä maksimi leikkauspaksuus 80 mm

- Ruostumaton teräs
 - puhdas jäysteetön pinta aina 45 mm materiaalin vahvuuteen saakka
 - suurin materiaalin vahvuus lävistettäessä 75 mm
 - reunalähdöllä tai esilävistettynä maksimi leikkauspaksuus 80 mm
- Alumiini
 - puhdas jäysteetön pinta aina 38 mm materiaalin vahvuuteen saakka
 - reunalähdöllä tai esilävistettynä maksimi leikkauspaksuus 80 mm.

Leikkausvirta ja suuttimet asetetaan leikattavan materiaalin paksuuden mukaan. Taulukossa 2 on esitetty yleisimmät levynpaksuudet ja niitä vastaavat virtamäärät suoralla ja vinolle leikkaukselle.

Taulukko 2. Leikkausvirrat leikattavan materiaalin paksuuden mukaan.
(Hypertherm 2013.)

Leikkausvirta	Materiaalivahvuus suorassa leikkauksessa	Materiaalivahvuus vinossa leikkauksessa
80 A	=< 6 mm	-
130 A	7 – 12 mm	=< 12 mm
200 A	15 – 18 mm	15 – 16mm
260 A	20 – 30 mm	15 – 25 mm
400 A	25 – 50 mm	20 – 50 mm

3.2 Leikkausjälki ja tarkkuus

Nyky aikaisten CNC-koneiden leikkaustarkkuus on jo sitä luokkaa että kappaleiden mitahteitot johtuvat yleensä joko ohjelmoinnista tai liian pitkään käytetyistä

kulutusosista. Valmistajan osoittama laitteiston mittatarkkuus on standardi SFS-EN 28206 sallimaa luokkaa $\pm 0,1$ mm (Microstep 2013). Mittaheittoihin pystytään vaikuttamaan kasvattamalla tai pienentämällä railokompensaatiota. Railokompensaatio lisätään manuaalisesti koneen käyttäjän toimesta leikattavan materiaalin vahvuuden mukaan. Kompensaatiolla tarkoitetaan etäisyyttä leikattavaan kappaleeseen leikkaussuihkun keskipisteestä kappaleen ulkoreunaan. Liian suurella kompensaatiolla leikkauspää kulkee liian suurella etäisyydellä leikattavaan kappaleeseen, jolloin kappaleen mitat kasvavat, tai vastaavasti leikattaessa sisäkiekkoa tulee sisäprofiilista liian pieni. Liian pienellä etäisyydellä leikkauspoltin kulkee kappaleen geometrian päällä, jolloin kappaleesta vastaavasti tulee liian pieni. Viisteen railokompensaatiolla voidaan hienosäätää viisteen etäisyys kappaleen reunasta, jonka vaikutus on erityisesti nähtävissä juuren korkeudessa sekä myös kappaleen äärimitoissa. Suoran leikkuun railokompensaatio asetetaan erikseen, kuten myös ylä-, ja alapuolinen kompensaatio jolloin mittaheittoja voidaan korjata erikseen jokaiselle pinnalle.

Viistepään kalibrointi suoritetaan testiviisteiden leikkaamisella ja mittaamalla käsin. Lisäksi viistelalaitteistoon kuuluu pallomainen suutinpää, jolla kalibrointi voidaan suorittaa manuaalisesti ilman koeleikkauksia. Kalibrointi on tärkeää suorittaa ennen jokaista leikkausta, sillä pelkkä suuttimien kulumisen saattaa aiheuttaa huomattavia eroja leikkaustarkkuudessa, sekä eri laatujen ja paksuuksien vaihtelu saattaa toisinaan vaatia erilaisia leikkausarvoja joita kone ei automaattisesti tunnista. MicroStep on kehitellyt uutuutena automaattisen kalibrointilaitteiston, joka esiteltiin yleisölle FinnTec messuilla 31.5.2013. Automaattinen työkalugeometrian kalibrointi ACTG- (auto-calibration system of tool geometry) suorittaa kalibroinnin itsenäisesti kiinteän mittauspisteen avulla sekä syöttää saadut korjausarvot suoraan koneelle. Järjestelmä toimii yhdessä ITH- (intelligent torch holder) leikkauskorkeusseurantaa tarkkailevan järjestelmän kanssa, jolloin viistejälki ja mittatarkkuus ovat entistäkin tarkempia. (FredEx 2009.)

Microstep MG plasmaleikkauskoneista löytyy pienien reikien leikkausteknologiaan erikoistunut leikkausarvoja korjaava ominaisuus nimeltä Hypertherm® True Hole™. TrueHole™ ominaisuus ei sido koneen käyttäjää millään tavoin vaan kone

sopeuttaa teknologian itsestään sille osoitettuihin reikiin. TrueHole™ ominaisuus vaikuttaa seuraaviin koneen arvoihin:

- Prosessikaasun tyyppi
- Kaasun virtaus
- Ampeeriluku
- Puhkaisumenetelmä
- Leikkaustekniikka
- Leikkausnopeus
- Ajoitus

Truehole™ tekniikka parantaa reikien leikkausjälkeä ja pienentää mittaheittoja huomattavasti perinteiseen leikkausmenetelmään verrattuna. Perinteiseen rei'itys menetelmään verrattuna Truehole™ teknologialla leikatut reiät aiheuttavat vähemmän räsitusta suuttimeen ja elektrodiin joka pidentää niiden käyttöikää. (FredEx 2009.)

Lisävarusteina yritykseen hankitun MicroStep MG plasmaleikkauskoneeseen on saatavilla muun muassa inkjet- mustesuihkujärjestelmä kappaleiden merkkaukseen varten. Mustesuihkulla voidaan tuottaa tarkempaa tekstimerkkaukseen, kuin happi- tai asetonikaasuilla. Mustesuihkun käyttökohteita ovat esimerkiksi piirustus- tai sulatusnumeron merkkaukseen leikattaviin kappaleisiin. Lisäksi viisteplasmaleikkauskoneen lisävarusteita ovat yllä esitelty ACTG- automaattinen kalibrointijärjestelmä sekä useampi työkaluasema. (Microstep 2013.)

3.3 Juuripinta plasmaleikkauksessa

Kappaleisiin leikattavat viisteet ovat yleensä hitsausviisteitä hitsisaumaa varten. Juuripinnalla tarkoitetaan kappaleen viistereunan kohtisuoraa pintaa. Juuri jää hitsattaessa hitsausalueen vastakkaiselle puolelle, hitsisauman tullessa viistettyyn

reunaan. Leikattaessa juuripinta voidaan leikata viisteen ylä-, ala-, tai keskipintana. Sijainnilla on huomattava merkitys leikkausjäljessä ja laadullisissa tekijöissä. Paras leikkauslaatu ja tarkkuus saavutetaan juuren jäädessä leikkauspinnan alapuoliseksi, jolloin leikattavan pinnan materiaalipaksuus jää ohuimmaksi. K-viisteen tapauksessa juuripinta on kahden leikkausviisteen keskellä. K-viisteen leikkaus vaatii kolme päällekkäistä leikkauskertaa koneelta, yhden jokaiselle kulmalle. Vaatimuksena tällaisen viisteen hyvälle ja mittatarkalle laadulle on riittävät materiaalivahvuudet. Virtalähteen ja leikkauspään valmistajan mukainen suositeltu viistesivun kerroskohtainen paksuus on 20–50% leikattavasta materiaalista. 20 mm paksuisessa teräslevyssä tämä tarkoittaa vähintään 4 mm ohuimmalle kerrokselle. Koneen valmistaja ei osoita juuripinnan paksuudelle minimiarvoja, sillä kone pystyy teoriassa leikkaamaan niin ohuen viisteen kuin mitä sille määritetään. Käytännössä minimiarvoja ovat 10 mm ja sitä alle materiaalivahvuuksille vähintään 2 mm juuripinta ja sitä paksummille materiaaleille 3–4 mm. Yritettäessä leikata pienempiä juuripintoja, huomattiin kulmien pyöristystä, juuripinnan sulamista ja näistä johtuvia mittaheittoja kappaleissa. (Hypertherm 2013.)

Esimerkkinä viisteen leikkauspuolen vaikutuksesta leikkausjälkeen ainevahvuudeltaan 20 mm teräslevyyn leikataan 10 mm paksu juuripinta ja 45° viiste. Leikattavan materiaalin paksuus juurta leikatessa on 20 mm. Viistettä leikatessa leikkauspinnan materiaalivahvuus on enää 14,1 mm jolloin kone tiputtaa leikkausvirtaa ja nostaa leikkausnopeutta suuremman leikkausjäljen saavuttamiseksi. Sama viiste alapuolisena miinuskulmalla leikattuna leikkauspaksuudet ovat viisteelle 28,3 mm ja juurelle 10 mm. Suuremmat paksuudet vaativat suuremman virran jolloin myös reunojen sulamisriski kasvaa. Viistepintojen leikkausjärjestystä ei voi vaihtaa, vaan teknologia luodaan aina periaatteella alhaalta ylöspäin. MicroStep MG- ohjausjärjestelmä laskee itse leikattavan paksuuden viisteelle ja sopeuttaa siihen tarvittaessa hitaampaa/nopeampaa leikkausnopeutta tai leikkausvirtaa. (Messer 2013.)

4 LEIKKAUSRADAN LUOMINEN (NESTIX & ASPER)

Kappalegeometrian piirtämiseen, sijoitteluun ja NC-ohjelmointiin leikkauskoneille yrityksessä käytetään 2D-pohjaista Nestix2 Cutting -ohjelmistoa. Ohjelmalla voidaan luoda leikkausohjelmia kaikkiin yrityksessä käytettäviin leikkauskoneisiin teknologiasta riippumatta. Leikkausrata, eli NC-koodi, siirretään koneelle sähköisesti tiedonsiirtokaapelia pitkin. Itse ohjelmisto koostuu kolmesta eri osiosta, parts, nest sekä flame. (TSV Insinöörit Oy 1998, 6–7.)

4.1.1 Parts – Piirtopuoli

Kappalegeometrian luontiin ja muokkaukseen Nestixissä päästään käsiksi parts-tilassa. Tilasta löytyvät tavalliset piirto- ja mitoitustyökalut sekä joitain erikoistyökaluja vaativimmille kappaleille. Kappaleisiin on mahdollista lisätä leikkaustapaa koskevia erikoistyyliä, kuten piste-, viivamerkkaus ja viisteleikkaus. Lisäksi jatkotoimenpiteitä varten piirtotilassa voidaan lisätä kappaletta koskevia erityishuomautuksia jotka tallentuvat geometriaan ja jäävät näin ollen näkyville kun kappaletta myöhemmin käsitellään.

Ohjelmaan voidaan tuoda valmiita geometrioita import-työkalun avulla. Tämä mahdollistaa asiakkaiden omien kuvien tuonnin suoraan järjestelmään jolloin kuvan jäljentämisestä aiheutuvat geometriavirheiden riskit vähentyvät. Lisäksi import-työkalun avulla säästetään merkittävästi aikaa kun jokaista käsiteltävää kappaletta ei tarvitse piirtää uudestaan. Yhteensopivia tiedostopäätteitä ovat DXF, DWG, DSTV, IGES, NUPAS, TRIBON, Intergraph ja NC-koodi. (Nestix 2013.)

Microstep Hypertherm® True Hole™ leikkausteknologia asetetaan reikiin partsin puolelta. Teknologia on asetettavissa jopa 1:1 suhteessa paksuuteen oleviin reikiin aina 25 mm asti (FredEx 2009). Teknologian tallentaminen kappaleen geometriaan ei vaikuta muihin yrityksessä käytössä oleviin leikkauskoneisiin. Tästä johtuen leikkausteknologiaa ei tarvitse purkaa jos kappaletta leikataan useilla eri leikkauskoneilla.

Viistettäviin kappaleisiin asetetaan leikkausteknologia erikseen jokaiselle viistettävälle reunalle bevel-työkalulla. Erilaisia viistemalleja on 6, joita kuvaavat työkalukuvakkeet ovat esillä kuviossa 4.

- Ensimmäinen työkalu ylhäältä päin on nimeltään K-viiste. K-viiste leikkaa kappaleeseen sekä ylä-, että alapuolisen viisteen ja jättää keskelle suoran juuripinnan.
- Toiseksi ylin työkalu tekee V-mallisen viisteen. Kuten K-viisteessäkin, V-viisteessä tehdään sekä ylä-, että alapuolinen viiste. Juuripintaa ei V-viisteessä ole.
- Kolmas työkalu luo yläpuolisen viisteen, sekä jättää juuripinnan.
- Neljäs työkalu tuottaa pelkän yläpuolisen viisteen.
- Viidenneksi löytyy alapuolinen juuriviiste.
- Viimeinen viistetyökalu on alapuolinen suora viiste.



Kuvio 4.
Viistetyylit.

Viisteteknologian lisääminen kappaleeseen tapahtuu ensin tallentamalla luotu kappalegeometria järjestelmään. Tässä vaiheessa kappaleen materiaali ja paksuus tallentuvat valmiiksi viisteen leikkausteknologiaa varten. Viisteteknologialla voidaan halutessa yhdistää kappalegeometriasta useita sivuja, jolloin myös leikkauskone käsittää sivut yhtenäisenä viivana jolla on yksi aloitus ja yksi lopetuspiste. Mahdollista on myös katkoa suora viiva useisiin pieniin jolloin välille saadaan useita aloituspisteitä. Yhtenäistä viivaa voidaan käyttää kun halutaan leikkauspinnan pysyvän yhtenäisenä ja yhdensuuntaisena. Yhtenäisessä viisteleikkauksessa kulmat pyöristyvät eivätkä välttämättä pysy asetetuissa mitoissa (Hypertherm 2013). Useilla aloituspisteillä pystytään kappaleen kulmat leikkaamaan teräviksi ja mittatarkoiksi. Leikkausjärjestys viistepinnoille on aina alhaalta ylöspäin. Tämä tulee huomioida viisteen mitoituksessa. Liian ohut viistepinta sulaa korkeaa virtaa käytettäessä. (Nestix 2013.)

4.1.2 Nest – Sijoittelu

Sijoittelupuolelta valitaan leikattava materiaali, levyn koko ja paksuus. Levy avataan taustalle aktiiviseksi alustaksi jonka päälle tuodaan kappalegeometrioita. Ennen kappaleiden sijoittelua levyllä tuodaan kappaleet tilauslistalta visuaaliin, jossa näkyvät kappaleiden ulkomuodot sekä tilausmäärät.

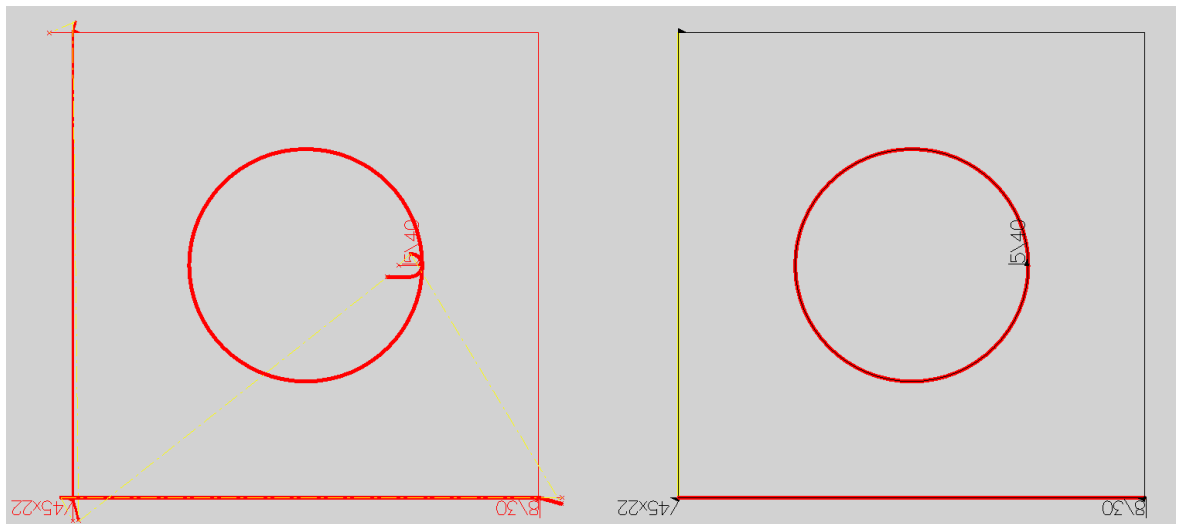
Tärkeimpinä asetuksina nest-tilalle ovat kappaleiden väliset sallitut törmäytysmitat sekä kappaleiden pyörittelyyn valittu pyörähdysaste. Törmäytysarvot sallivat kuinka lähekkäin kappaleet voidaan sijoitella levyllä. Pyörähdysarvoa kasvattamalla tai vähentämällä voidaan mahdollistaa kappaleita pienempään tilaan.

Viistekappaleiden sijoittelussa tulee huomioida normaalia suuremmat törmäytykset sekä kappaleen peilauksen lukitus. Viistekappaleiden törmäytykset ovat noin kolminkertaiset suoraan leikattaviin kappaleisiin verrattuna. Plasmalla leikattavissa levynpaksuuksissa suoran leikkauksen törmäytys vaihtelee 7–15 mm väliltä. Peilauksen lukituksella varmistetaan että viiste pysyy leikattavan pinnan oikealla puolella. Lukitus voidaan avata poistamalla geometriasta viistelinjat, joka palauttaa kappaleen normaaliin käsittelyyn. Mikäli viistekappale halutaan leikata toisinpäin tulee se peilata partsin puolella ja asettaa viisteteknologia uudelleen. (TSV Insinöörit Oy 1998, 123.)

Nestix tukee kaikkia yrityksen käytössä olevia leikkausteknologioita, eli polttoleikkaamista, plasmaleikkaamista ja laserleikkaamista. Konetyyppi tulee valita ennen sijoittelua jolloin leikkausteknologialle ominaiset oletusarvot tulevat valituiksi. Konetyypin valinnalla käyttöön tulevat myös koneiden leikkaustyyliin liittyviä nestausominaisuuksia. Hyödyllisiä ominaisuuksia ovat muun muassa monipoltinleikkaus polttoleikkauksessa sekä reiän koon mukaan vaihtuva lävistys ja leikkaustyyli laserleikkauksessa ja TrueHole™ rei'issä.

4.1.3 Flame – Leikkausradan luonti

Flame-tilassa luodaan leikkausradat jotka ohjaavat leikkauskonetta. Kappaleen leikattavat geometriat näkyvät käyttäjälle ennen radanluontia pääosin mustana, poikkeuksena värikoodatut viisteet, merkkaukset sekä info-viivat. Värikoodit viisteleikkaukselle ovat alapuoliselle viisteelle punainen ja yläpuoliselle keltainen. Viisteessä jossa on leikattavaa juuripintaa juuri on osoitettu ohuella mustalla viivalla värikoodin keskellä. K-viiste merkataan päällekkäisillä viivoilla. Värikoodin lisäksi leikkauksen aloituskohtaan tulee merkintä viistesuunnasta sekä viistekulmasta. Kuviossa 5 esitellään viistekappaleita ja miten ne leikkausrataa tehdessä näkyvät kuvaruudulla.



Kuvio 5. Kuvassa esiintyy viistettäviä kappaleita, leikkausradalla (vas.) ja ilman rataa (oik.).

Termisille leikkauskoneille on tyypillistä aloituspisteen näkyminen kappaleissa leikkauksen jälkeen joka esiintyy yleensä joko pienenä hiottavana nystyränä, tai kolona leikkauspinnassa. Aloituskohdan jättämään jälkeen pystytään vaikuttamaan eri aloitus- ja lopetustyyliillä. Aloitustyyliillä tarkoitetaan tapaa jolla leikkauspoltin siirtyy levynläpäisyn jälkeen leikattavan geometrian radalle. (TSV Insinöörit Oy 1998, 135–150.)

Leikkauksen aloitus- ja lopetustyyliä löytyy ohjelmasta useita eri malleja. Hienosuihkuplasamalla reikien lähtöihin tullaan pääsääntöisesti säteellä ja poistutaan kulmalla, tällöin säde tekee läpäisyn jälkeen loivan kaaren jatkaen suoraan leikkauspinnalle ja kulmalopetus poistuessaan leikkaa säteestä jääneen nystyrän pois. Lopputuloksena on hyvä leikkauspinta heti aloituksen jälkeen ja pieni kolo itse aloituskohdassa. Ulkopinnalle käytetään suoraa lähtöä ja poistumista kun aloituskohta on sijoitettavissa kulmaan. Aloituskohdan ollessa kappaleen suoralla sivulla käytetään aloitukseen ja lopetukseen loivaa sädettä. Näissä tapauksissa aloituskohtiin jää nystyrä joka on hiottavissa vähäisellä työllä pois. Aloitus- ja lopetustyylien sekä ohjelmoinnissa käytettävien menetelmien tutkiminen on toteutettu yhteistyössä Seinäjoen ammattikorkeakoulun Projektipaja-opintojen kanssa vuonna 2013. (Ferrum Steel 2013b.)

Viisteleikkauksien aloitukset ovat suoraa leikkausta pidempiä, sillä leikkauspoltin tarvitsee aikaa kääntyäkseen leikattavaan kulmaan. Levyn lävistys tapahtuu ennen poltin asettumista leikattavaan kulmaan, eli suoraan aloituskohtaan kappaleen reunassa pyrkiessä tulee asettaa aloitukseen viistepuolta vastaava korjaus. Kuviossa 7 vasemmalla nähdään miten ulkoreunan aloituskohdat ovat selvästi sivussa leikattavaan reunaan nähden, tällöin leikkauspoltin ei liiku sivuttaissuunnassa kappaleeseen nähden juuri lainkaan. (TSV Insinöörit Oy 1998, 135–150.)

4.2 Asper-ohjelmisto

Microstep MG -ohjausyksikkö on varustettu itsenäisellä CAM-ohjelmistolla nimeltä Asper, jolla leikkausratojen luonti ja muokkaus onnistuu koneelta käsin. Ohjelmistosta löytyy työkalut yksittäisten kappaleiden käsittelyyn, sekä sillä voidaan myös lukea valmiita DXF, DCF, CNC, ESI ja PLA-muodossa olevia piirustuksia (Microstep 2013). Geometrioiden luonti ja leikkausradan ohjaus tapahtuu valmiiksi ohjatuilla makroilla joista valitaan halutun kaltainen muoto. Valitulle muodolle asetetaan kappaleen mitat sekä kulmat. Makroilla voidaan tarvittaessa leikata pikaisesti yksittäisiä kappaleita ilman kokonaisen leikkausohjelman luontia Nestixillä. Usein kuitenkin geometrian haasteellisuus,

tarkkuus, lukumäärä ja tehokas sijoittelu levyille vaativat leikkausradan luonnin nestausohjelmalla.

Valmiiksi nestattu ja postattu leikkausrata saadaan avattua Asperilla tarkasteltavaksi jolloin siihen voidaan myös tehdä halutun kaltaisia muutoksia. Nestauksessa asetetut aloituskohdat ja leikkaustyyli tallentuvat postauksessa kappaleen leikkausgeometriaan. Aloituskohtien siirto ja tyylin vaihto vaativat aina ohjelman purun ja uudelleen postauksen Nestixillä. Muokkaus on mahdollista tehdä myös Asperilla kun käsitellään yksittäistä kappaletta leikkausohjelmassa. Leikkausohjelman muokkaustoiminnolla pystytään vaihtamaan kappaleiden leikkausjärjestystä leikattavassa ohjelmassa, jolloin leikkaaja pystyy tarvittaessa poimimaan halutut kappaleet leikattavan ohjelman alussa, tätä toimintoa käytetään varsinkin pienten kappaleiden poimintaan. Pienet kappaleet saattavat tippua leikkauspöydän läpi tai jäädä leikkauspöydälle kallelleen. Tällöin kappaleista tulee yleensä romua leikkaussuihkun osuessa kappaleisiin pöydän alla, tai leikkaus keskeytyy muulla tavoin kappaleen nostamiseksi levyn alta. Pahimmassa tapauksessa työkaluasema ajaa kallellaan olevaan kappaleeseen päin ja vioittuu törmätessään.

Microstepin optista kameraa käytetään ja ohjataan Asperin kautta. Jälkiviistettävän kappaleen geometria luetaan ensin koneelle, jonka jälkeen geometriaan lisätään viisteen astekulma ja viisteen pituus. Ohjelma laskee aloitus- ja lopetuspituudet sille osoitetuista oletusarvoista. Aloitus- ja lopetuspituudet typistetään vastaamaan käytettävää leikkausvirtaa, jolloin vältetään plasmakaaren karkaaminen kappaleen ulkopuolelle tyhjän päälle. Viistettävälle sivulle tulee kahteen kohtaan mittauspisteet josta leikkauskone käy tarkistamassa levynkorkeuden. Mittauspisteet tulee olla vähintään 200 mm päässä toisistaan, ja niiden tulee sijaita kappaleella. Mittauspisteiden sijaintia ei pystytä määrittämään Nestixin kautta, vaan mikäli ne tulevat lyhyen viisteen vuoksi päällekkäin on leikattava rata muokattava ennen leikkausta Asperilla. Ylimääräisen työn ja leikkauskoneen seisottamisen välttämiseksi alle 200 mm viisteet tulisi tehdä jälkikäteen viistetyöpisteillä. Jälkiviistettävän kappaleen paikoitus leikkauspöydältä tapahtuu tuomalla ensin Asperiin kappaleen piirustus esimerkiksi DFX muodossa. Kappaleesta valitaan muotoja joita ohjelma etsii pöydältä optisen kameran avulla.

Kuviossa 6 esitellään kappalegeometrian skannausta optisella kameralla. (FredEx 2009.)



Kuvio 6. Kappalegeometrian skannausta optisella kameralla.

5 LEIKKAUSJÄLKI

5.1 Laatutoleranssit

Standardissa SFS-EN ISO 9013 esitetään suoran ja viiston leikkauspintojen laatuluokat ja laatutoleranssit. Taulukossa 3 on esitetty nimellismittojen sallitut poikkeamat puhdistetusta suorasta leikkauspinnasta. Vinon leikkauksen eromitat käsitellään erikseen taulukossa 4.

Taulukko 3. SFS-EN ISO 9013:ssa esitetyt sallitut eromitat plasma-, ja polttoleikkauksessa toleranssiluokassa 1.

Mitat mm

Työkappaleen aineenpaksuus	Nimellismitat							
	> 0 < 3	≥ 3 < 10	≥ 10 < 35	≥ 35 < 125	≥ 125 < 315	≥ 315 < 1000	≥ 1000 < 2000	≥ 2000 < 4000
	Sallitut eromitat							
> 0 ≤ 1	± 0,04	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,2	± 0,3	± 0,3	± 0,3
> 1 ≤ 3,15	± 0,1	± 0,2	± 0,2	± 0,3	± 0,3	± 0,4	± 0,4	± 0,4
> 3,15 ≤ 6,3	± 0,3	± 0,3	± 0,4	± 0,4	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,6
> 6,3 ≤ 10	–	± 0,5	± 0,6	± 0,6	± 0,7	± 0,7	± 0,7	± 0,8
> 10 ≤ 50	–	± 0,6	± 0,7	± 0,7	± 0,8	± 1	± 1,6	± 2,5
> 50 ≤ 100	–	–	± 1,3	± 1,3	± 1,4	± 1,7	± 2,2	± 3,1
> 100 ≤ 150	–	–	± 1,9	± 2	± 2,1	± 2,3	± 2,9	± 3,8
> 150 ≤ 200	–	–	± 2,6	± 2,7	± 2,7	± 3	± 3,6	± 4,5
> 200 ≤ 250	–	–	–	–	–	± 3,7	± 4,2	± 5,2
> 250 ≤ 300	–	–	–	–	–	± 4,4	± 4,9	± 5,9

Taulukko 4. SFS-EN ISO 9013:ssa esitetyt sallitut eromitat plasma-, ja polttoleikkauksessa toleranssiluokassa 2.

Mitat mm

Työkappaleen aineenpaksuus	Nimellismitat							
	> 0 < 3	≥ 3 < 10	≥ 10 < 35	≥ 35 < 125	≥ 125 < 315	≥ 315 < 1000	≥ 1000 < 2000	≥ 2000 < 4000
	Sallitut eromitat							
> 0 ≤ 1	± 0,1	± 0,3	± 0,4	± 0,5	± 0,7	± 0,8	± 0,9	± 0,9
> 1 ≤ 3,15	± 0,2	± 0,4	± 0,5	± 0,7	± 0,8	± 0,9	± 1	± 1,1
> 3,15 ≤ 6,3	± 0,5	± 0,7	± 0,8	± 0,9	± 1,1	± 1,2	± 1,3	± 1,3
> 6,3 ≤ 10	–	± 1	± 1,1	± 1,3	± 1,4	± 1,5	± 1,6	± 1,7
> 10 ≤ 50	–	± 1,8	± 1,8	± 1,8	± 1,9	± 2,3	± 3	± 4,2
> 50 ≤ 100	–	–	± 2,5	± 2,5	± 2,6	± 3	± 3,7	± 4,9
> 100 ≤ 150	–	–	± 3,2	± 3,3	± 3,4	± 3,7	± 4,4	± 5,7
> 150 ≤ 200	–	–	± 4	± 4	± 4,1	± 4,5	± 5,2	± 6,4
> 200 ≤ 250	–	–	–	–	–	± 5,2	± 5,9	± 7,2
> 250 ≤ 300	–	–	–	–	–	± 6	± 6,7	± 7,9

Leikkauslaadun mittaamisessa ja toteutamisessa on käytetty mittaustyövälineinä työntömittaa, suorakulmaa, kulmamittaa, sädetulkkia ja rullamittaa.

5.2 Koekappaleiden leikkaus

Ensimmäisiä viistetestikappaleita leikattaessa ajatuksena oli että alapuolinen viisteleikkaus tuottaisi suoremman jäljen ja kappaleet olisi helpompi purkaa levyltä. Tätä väitettä perusteltiin sillä että yläpuolisen viisteleikkauksen jälkeen kappaleet jäävät leikattavan reunan alle jumiin ja ovat purettavissa vasta sen jälkeen, kun levy on nostettu leikkauspöydältä pois. Lisäksi oletuksena oli että suurempi virta johtaisi suorempaan jälkeen reunassa. Viistettävät reunat tulisi aina leikata ennen viimeistä suoraa reunaa, jolloin kappale on mahdollisimman kauan kiinni levyssä. Tällöin kappale pysyy viistettäessä paikoillaan levyllä ja jäljestä tulee suora.

Taulukkoarvojen alle mennessä juuripintojen viisteenpuoleisessa kulmassa esiintyy voimakasta pyöristymistä sekä joissakin tapauksissa juuripinta sulaa viistettä leikattaessa kokonaan. Mikäli on tarpeen tehdä ohuempi juuripinta viistesivulle, tulisi se tehdä käsityönä jälkikäteen.



Kuvio 7. 25 mm teräslevy jossa 50° viisteet molemmissa reunoissa.

Kuviosta 7 voidaan todeta miltä eripuoliset viistemallit näyttävät leikkauksen jälkeen. Kuviossa oikealla alapuolisesta viisteestä voidaan erottaa suuresta virrasta johtuvat pyöristyneet kulmat sekä leikkauskaaresta aiheutuva lievästi

kovera kohta keskellä viistettä. Kulmat pyöristyneet sekä ylä- että alapinnassa, joista aiheutuva mittaheitto 0,5 - 1 mm. Kuviossa vasemmalla yläpuolisesta viisteestä sen sijaan jäljelle ei jää juuri lainkaan leikkausjäystettä, kulmat ovat lähes terävät ja viiste on lähes suora. Yläpuolisessa viisteessä kulman pyöristymistä havaitaan lähinnä kappaleen alareunassa, josta aiheutuva mittaheitto 0,1 – 0,5 mm mittauskohdasta riippuen. Erityishuomiona voidaan pitää nimellismittatoleranssissa pysymistä ($\pm 1,9$ mm) molemmissa leikkauspinnoissa pyöristyksistä huolimatta. Kyseisestä kappaleesta ei voida tarkasti mitata viisteleikkauksen vaikutusta kappaleen leveyteen viisteiden ollessa vastakkaisilla sivuilla. Leikkausjäysteen määrän ero ylä- ja alapuolisessa viisteessä selittyy sillä että yläpuolisessa viisteessä leikkaussuihku on kallistuneena romuun päin.



Kuvio 8. Pyöreä $\varnothing 100$ mm viistereikä. Materiaalin vahvuus 25 mm, viisteen kulma 45° .

Kuviossa 8 pyöreän reiän viisteleikkaus, viiste on ollut leikattaessa alapuolinen (kappale käännetty ylösalaisin kuvan ottamista varten). Tulokset samankaltaiset kuin kappaleen ulkoreunoissakin, pyöreät reunat, lievä lommo viisteessä ja runsas

leikkausjäyste. Huomattavaa tässä kokeessa oli aloitusjäljen jättämä runsas kolo, kolo syntyi käytettäessä suoralle leikkausmenetelmille tavallisesti käytettyjä lähtö-, ja lopetustyyylejä. Kappaleesta mitattu kulma 45° vastaa asetettua arvoa.



Kuvio 9. Sisäkulmaan päätyvä viiste. Juuri 3 mm, viistekulma 30° , materiaalinpaksuus 15 mm.

Kuviossa 9 sisäkulmassa nähdään huomattava kolo kappaleessa viisteleikkauksen lopetuskohdassa. Kulmassa oleva säde on leikattu viisteteknologialla, jolloin viisteen lopetus on karannut kappaleen päälle. Kelvollinen viiste tulisi vastaavassa tapauksessa jättää kesken ennen kulmaa ja viimeistellä kulmahiomakoneella. Kappaleessa oleva viiste päättyy tai alkaa suorasta kulmasta, jolloin leikkauksen aloitukselle ja lopetukselle ei myöskään jää tarvittavaa tilaa. Terävät kulmat aiheuttavat yleensä virheitä tai reikiä kappaleeseen. Tämä johtuu leikkauspäätä ohjaavien akselien liikeradasta, sillä liian tiukan kulman tapauksessa akseli joutuu kääntymään menosuuntaansa nähden vastakkaiseen suuntaan joka aiheuttaa polttimen hetkellisen pysähtymisen kesken leikkaustapahtuman. Ulkoreunassa tätä ei yleensä huomaa sillä

pysähtymisestä aiheutuva reikä jää romun puolelle tai kulmaan kohdistuvat pyöristykset ovat havainnollisesti pieniä.

5.3 Jälkiviiste optisen kameran avulla

Jälkiviistämisessä eli kameraviistämisessä käytetään plasmakaaren synnyssä reunalähtöä, jolloin varsinaista lävistystapahtumaa ei ole. Reunalähtö jättää kappaleeseen suuremman aloitusjäljen, vaikka leikkausvirta on lävistystapahtumaa pienempi. Syynä aloitusjäljen syntyyn on polttimen liike, tai paremminkin sen puuttuminen plasmakaaren syntyhetkellä. Leikkausnopeus on aloituskohdassa 0 mm/s sekä leikkauspoltin joutuu suorittamaan kiihtymisen optimaaliseen leikkausnopeuteen kappaleen pinnassa. Normaalista viisteenleikkauksesta poiketen leikkauspoltin kääntyy asetettuun leikkauskulmaan ennen kaaren syntyä.



Kuvio 10. Kameralla viistetty esittelykappale.

Kameralla viistettyjen kappaleiden leikkausjäljen laatu on vähintäänkin vastaavaa kuin suoraan levyltä leikattuna. Jälkikäteen viistettäessä vältetään usean kerroksen päällekkäisestä leikkauksesta, jolloin leikkaussuihku ei pääse vaikuttamaan muihin kerroksiin yhtä voimakkaasti. Kuviossa 10 tarkastellaan FredExin esittelykappaletta, jossa viisteet tehty jälkiviisteenä. Leikkausjälki on tarkkaa ja tasalaatuista. Pinnasta on havaittavissa leikkaushilsettä, kaaren syntykohtaa ei pystytä kappaleesta havaitsemaan.

5.4 Plasmaviisteen leikkausjäljen yhteenveto

Nykyaikaisella ja kehittyneellä leikkausteknologialla viisteen tekeminen plasmaleikkauskoneella vastaa suorasta leikkauksesta syntynyttä leikkausjälkeä leikkauspinnassa. Automaattisen korkeudenseurannan ansiosta viisteen korkeus on tasamittaista koko viisteen pituudelta. Suuttimien kulumisen ja kuonamateriaalin tarttuminen leikkauspäähän ei vaikuta niin merkittävästi leikkauskorkeuteen, että se olisi mitattavissa heittoina kappaleen viisteen korkeudesta. Laadullisesti plasmaleikkauskoneella pystytään leikkaamaan kaikkia viisteitä ISO 9013:ssa asetettujen ehtojen mukaisesti pysyttäessä valmistajan esittämissä leikkausmenetelmän vaatimuksissa. Näitä vaatimuksia ovat leikkauspään maksimi kallistuvuus 50° , materiaalin minimi kerrosvahvuus viistettä tai juurta kohden vähintään 20 % kokonaisvahvuudesta sekä viisteen vähimmäispituus 200 mm.

Jokainen viistekerros vaatii oman lähdön, joten tilaa tulisi olla myös lopetukselle. Tästä johtuen terävien ja suorakulmaisten sisäkulmien viistäminen plasmaleikkauskoneella aiheuttaa monesti jälkityötä kulmahiomakoneella. Pitkien kappaleiden lämpölaajeneminen aiheuttaa sen, että kappaleiden liikkuesssa leikkauspöydällä juuripinta ja viiste eivät tule koko viisteen matkalla samalle etäisyydelle. Kappaleen liikkuminen ennen toisen kerroksen leikkaamista saattaa johtaa siihen, että kappale on leikkauksen jälkeen joistain kohdista erimittainen kuin mitä se on tarkoitettu. Monikerroksisen viisteen leikkaaminen edellyttää kappalegeometrialta vähintään yhtä suoraksi leikattavaa reunaa tai suoraa viistettä.

6 TULOKSET

6.1 Vertausarvot

6.1.1 Mekaaninen viiste

TRUMPF TruTool TKF 1500-käsinakertajan vertailussa käytetään valmistajan osoittamia työnopeuksia, maksimikulmaa ja sallittuja materiaalin murtolujuuksia.

- maksimi viistepituus materiaalin lujuuden ollessa luokkaa 400N/mm² 15 mm
- työnopeus 2 m/min
- pienin juuren paksuus 1 mm–3 mm
- materiaalin vahvuus 6 mm–40 mm
- maksimi ja minimi viistekulma 20°–45°. (Trumpf 2013.)

PullMax X97-viistekoneen vertailuarvoissa käytetään valmistajan sivuilta ja käyttöohjekirjasta saatuja työnopeuksia, maksimikulmaa sekä materiaalin murtolujuuksia.

- maksimi viistepituus materiaalin lujuuden ollessa luokkaa 390N/mm² 25 mm
- suurin syöttönopeus 3,1 m/min
- pienin juuren paksuus 3 mm
- maksimi materiaalin paksuus 50 mm
- maksimi ja minimi viistekulma 25°–55°. (Pullmax 2009.)

6.1.2 Polttoviiste

Polttoviisteen leikkausnopeus on materiaalista riippuen noin 0,3–0,4 m/min (Mattila & Lakso 2009, 2–3). Mittatarkkuus $\pm 0,8$ – $\pm 2,5$ mm leikattavasta materiaalista ja kappaleen muodosta riippuen. (Aromäki 2009, 263.) Yrityksen käytössä olevassa polttoviistekoneessa ei ole NC-ohjausta, mistä johtuen mittatarkkuus on heikompi. Lisäksi polttoleikkauksen mittatarkkuuteen vaikuttaa suuri lämmöntuonti kappaleeseen, mikä aiheuttaa lämpölaajenemista ja mittaheittoja. Säteiden ja monimuotoisten viisteiden leikkaaminen vie suoraan leikkaamista enemmän aikaa tulkkauksen ja mittaamisen vuoksi. Viisteplasmaan verrattuna polttoleikkauksella pystytään tuottamaan suurempaa leikkausjälkeä ja kulmien pyöristymiset ovat pienempiä. Polttoleikkauksella pystytään leikkaamaan jopa 250 mm:n ainevahvuuksia.

6.1.3 Plasmaviiste

Plasmaviisteen leikkausnopeus on erittäin suuri alle 30 mm materiaaleilla, mutta laskee paksummilla materiaaleilla melko nopeasti. Ohuimpien 3 mm:n leikattavien materiaalien leikkausnopeus on lähes 6 m/min ja paksumpien 25 mm:n materiaalien n. 1 m/min. Keskiarvona käytetään yleistä 12 mm materiaalien leikkausnopeutta 3 m/min. Leikkausnopeus niukkaseosteisille teräksille lasketaan kaavasta $S = I / (8 * T)$. (Hypertherm 2013). Plasmalla leikatessa materiaalin lujuudella ei ole merkitystä leikkausnopeuteen. Muihin menetelmiin verrattuna plasmaviistäminen on yrityksessä ainut tapa, josta viistettyä tuodaan kappaleisiin suoraan leikkausteknologiassa. Tästä johtuen voidaan plasmaviistettävien kappaleiden tapauksessa jättää viistetyövaihe pois, mikä puolestaan nopeuttaa kappaleiden läpimenoaika tuotannossa.

6.2 Kameraviiste

Optista kameraa käyttäen kappaleiden jälkiviistämällä saadaan aikaiseksi vastaavaa leikkausjälkeä ja tarkkuutta kuin suoraan levynleikkauksessakin

tapahtuvassa viistämisessä. Erona kameraviistämisellä ja tavallisella leikkausohjelmanviistämisellä ovat suuremmat läpimenoajat jotka johtuvat leikkaustyöpisteellä aiheutuvasta leikkausgeometrian ohjelmoinnista ja kappaleiden skannaamisesta järjestelmään. Kameraviistämistä käytetään pääasiassa muilla leikkausteknologioilla leikatuille kappaleille. Menetelmällä voidaan tehdä vastaavia viisteitä, kuin polttoviisteilläkin. Etuna polttoviisteeseen verrattuna ovat epäsäännöllisten muotojen viisteleikkaus sekä suurten sarjojen kohdalla toistettavuus.

6.3 Viisteytyksen läpimenoaika

Materiaalin paksuuteen suhteutettuna varsinainen työnopeus ei suuresti eroa eri viistämismenetelmien välillä. Suurempana osana läpimenoaikaa ovat esituotannolliset vaiheet, kuten kulmien ja vasteiden asettaminen, piirustusten lukeminen ja kappaleiden kiinnittäminen työstämistä varten. Lisäksi lisätyötä aiheuttavat kappaleiden hakeminen hyllystä työpisteelle ja mahdolliset jäysteiden ja epätasaisuuksien hiomiset. Viistämisen esituotannollisten vaiheiden ajallinen osuus työpisteen läpimenoajasta riippuu suuresti työstettävästä kappalegeometriasta, jolloin siihen ei voida suoraan ajallisesti verrata.

Plasmaviistämisessä edellä mainittuja esityövaiheita ei ole. Esityövaiheisiin käytetty aika on osa leikkausradan luontia, jolloin sillä ei ole suoranaisesti vaikutusta tuotannon läpimenoaikoihin. Levyn nostaminen leikkauspöydälle ja leikattujen kappaleiden purkaminen levyltä ovat osa leikkausta, jota ei huomioida viistämiseen käytetyssä ajassa. Plasmaviistämisen työaikaa ovat lisääntynyt leikkausaika kappaletta kohden sekä leikkaussuuttimien vaihtaminen. Plasmaleikkauksen leikkausjälki on huomattavasti puhtaampi kuin polttoleikkauksen eikä se yleensä vaadi jäysteenpoistoa.

7 YHTEENVETO

Plasmalla viistettäviin kappaleisiin tallennetaan työvaihe VHS (viistehienosuihku eli plasmaviiste). Työvaihemerkintää käytetään sekä levynleikkauksen yhteydessä tapahtuvaan viistämiseen että kappaleen jälkikäteen viistämiseen optisella kameralla. VHS-työvaihe kuitataan erikseen tuotannonohjausjärjestelmään, jolloin se ei sekoitu viistetyövaiheeseen VI (viiste, kuvaa mekaanista- ja polttoviistämistä). Tilauksessa voidaan käyttää myös molempia työvaiheita, mikäli kappalegeometria niin vaatii.

Polttoviistämistä käytetään jatkossakin pääsääntöisesti paksumpien kappaleiden viistämiseen. Erityisesti monimuotoiset ja muuttuvat viistekappaleet siirtyvät läpimenoajasta johtuen kameraviisteen eli VHS-työvaiheen alle. Suoran viisteen tekemiseen käytettävä läpimenoaika työpisteellä on vastaava polttoviisteellä kuin kameraviisteelläkin. Tällöin voidaan katsoa tuottavammaksi tehdä viisteet manuaalikoneella kuin seisottaa arvokkaampaa NC-leikkauskonetta. Yhdellä työkaluasemalla varustettuna paksumpien materiaalien leikkaaminen ei ole polttoleikkaukseen verrattuna plasmaleikkaamalla tehokasta. Tämä johtuu siitä, että plasmaleikkauksessa leikkausnopeudet laskevat hyvin voimakkaasti paksummilla, jo yli 30 mm:n materiaaleilla.

Mekaanisten viistämismenetelmien suurimmat hyödyt tulevat vastaan erityisen pitkillä kappaleilla ja ohuemmillä, 10 mm ja alle, materiaaleilla. Termisessä leikkauksessa tapahtuva lämpölaajeneminen aiheuttaa mittaheittoja juuri näillä samoilla alueilla. Ohuemat materiaalit tullaan jatkossakin viistämään pääsääntöisesti mekaanisesti. Mekaaniset nakertajat ja viistekone ovat ainoat viistämismenetelmät, jotka valmistajat osoittavat pystyvän 1 mm:n paksuiseenkin juuripintaan. Millin vahvuinen juuripinta on hyvin yleinen hitsausviisteen juuren korkeus. Mekaanisilla viistämismenetelmillä ei päästä kovin tiukkoihin kulmiin eikä pieniin sisäkiekkoihin. Ohuiden materiaalien kohdalla viisteplasmatyövaihe tullaan lisäämään pääasiassa sisäkiekkoihin ja monimuotoisiin viisteisiin.

Yrityksellä on käytössään kolme plasmaleikkauskonetta, joista on kaksi täyspäiväisessä tuotantokäytössä. Uusien ominaisuuksien ja tehokkaamman

virtalähteen myötä plasmaleikkaus on jaettu nestauksessa kahteen osaan, jolloin voidaan erotella vaativammat kappaleet yleiskappaleista. Microstep-viisteplasmaleikkauskoneen eduksi luetaan muun muassa paksummat kappaleet, tarkemmat toleranssit rei'issä, automaattinen kaasukonsoli ja leveämpi leikkauspöytä.

Testikappaleita leikkaamalla on pystytty osoittamaan, millaisia leikkausmenetelmiä viisteplasmalla tulee käyttää ja mitä pitää ottaa huomioon leikkausjäljen parantamiseksi. Lisäksi testien avulla on pystytty erottamaan, millaisia kappaleita viisteplasmalla on kannattava työstää. Menetelmiä kehitellään uusien kappaleiden myötä.

LÄHTEET

- Agileus Software. 2009. MicroStep plasma uutuus TrueHole. [www-dokumentti]. FredEx Oy. [5.11.2013]. Saatavissa: <http://www.fredex.fi/index.php?page=1050&lang=1>
- Agileus Software. 2009. MicroStep uutuus viisteleikkaukseen ACTG ja IHT. [www-dokumentti]. FredEx Oy. [5.11.2013]. Saatavissa: <http://www.fredex.fi/viisteleikkaus.html>
- Ferrum Steel. 2013a. Monimuotoista teräksen käsittelyä. [www-dokumentti]. Ferrum Steel Oy. [22.12.2013]. Saatavissa: <http://www.ferrumsteel.fi/index.html>
- Ferrum Steel. 2013b. Testausraportti. Seamk, Tekniikan yksikkö. Vain yrityksen sisäiseen käyttöön.
- Ferrum Steel. 2013c. Tuotannon toimintaohje. Vain yrityksen sisäiseen käyttöön.
- Hypertherm Inc. 2013. HyPerformance HPR400XD. [www-dokumentti]. Hypertherm Inc. [5.11.2013]. Saatavissa: http://www.hypertherm.com/en/Products/Automated_cutting/Mechanized_plasma/Systems/HyPerformance_plasma/hpr400xd.jsp#0
- Hypertherm Inc. 2013. True Bevel technology. [www-dokumentti]. Hypertherm Inc. [5.11.2013]. Saatavissa: http://www.hypertherm.com/en/Products/Automated_cutting/Built_for_Business/Hyperformance_plasma/true_bevel.jsp
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2009. Valmistustekniikka. 13. Painos. Helsinki: Otatieto Oy.
- Mattila, T & Lakso, T. 1997. Termisten leikkausmenetelmien ja vesisuihkuleikkauksen nykytila ja sovelluspotentiaali teollisuudessa. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Tutkimusraportti 19.
- Microstep. 2013. Your Partner for Cutting and Automation. [www-dokumentti]. MicroStep, spol. s r.o. [5.11.2013]. Saatavissa: http://www.microstep.eu/products/machines/plasma_and_oxyfuel_machines/mg/
- Messer Cutting Systems, Inc. 2013. Bevel Cutting Plasma. [www-dokumentti]. Messer Cutting Systems, Inc. [5.11.2013]. Saatavissa: <http://www.messer-cs.com/us/processes/plasma-cutting/bevel-cutting-plasma/>

Nestix Oy. 2013. Nestix cutting. [www-dokumentti]. Nestix Oy. [5.11.2013].
Saatavissa: <http://www.nestix.fi/fi/toimiala-ja-tuotteet/nestix-cutting.html>

PrimaPower. 2013. Platino. [www-dokumentti]. Prima Industrie S.p.A..
[26.11.2013]. Saatavissa:
<http://www.primapower.com/en/products/thelaser/platino-en/>

Pullmax. 2009. Pullmax X97. [www-dokumentti]. Pullmax AB. [5.11.2013].
Saatavissa: <http://www.pullmax.com/productpage.aspx?pageid=121>

Trumpf. 2013. Trumpf TruTool TKF 1500. [www-dokumentti]. Trumpf Inc.
[5.11.2013]. Saatavissa: <http://www.us.trumpf.com/products/power-tools/products/bevelling-bevellers/trutool-tkf-1500.html>

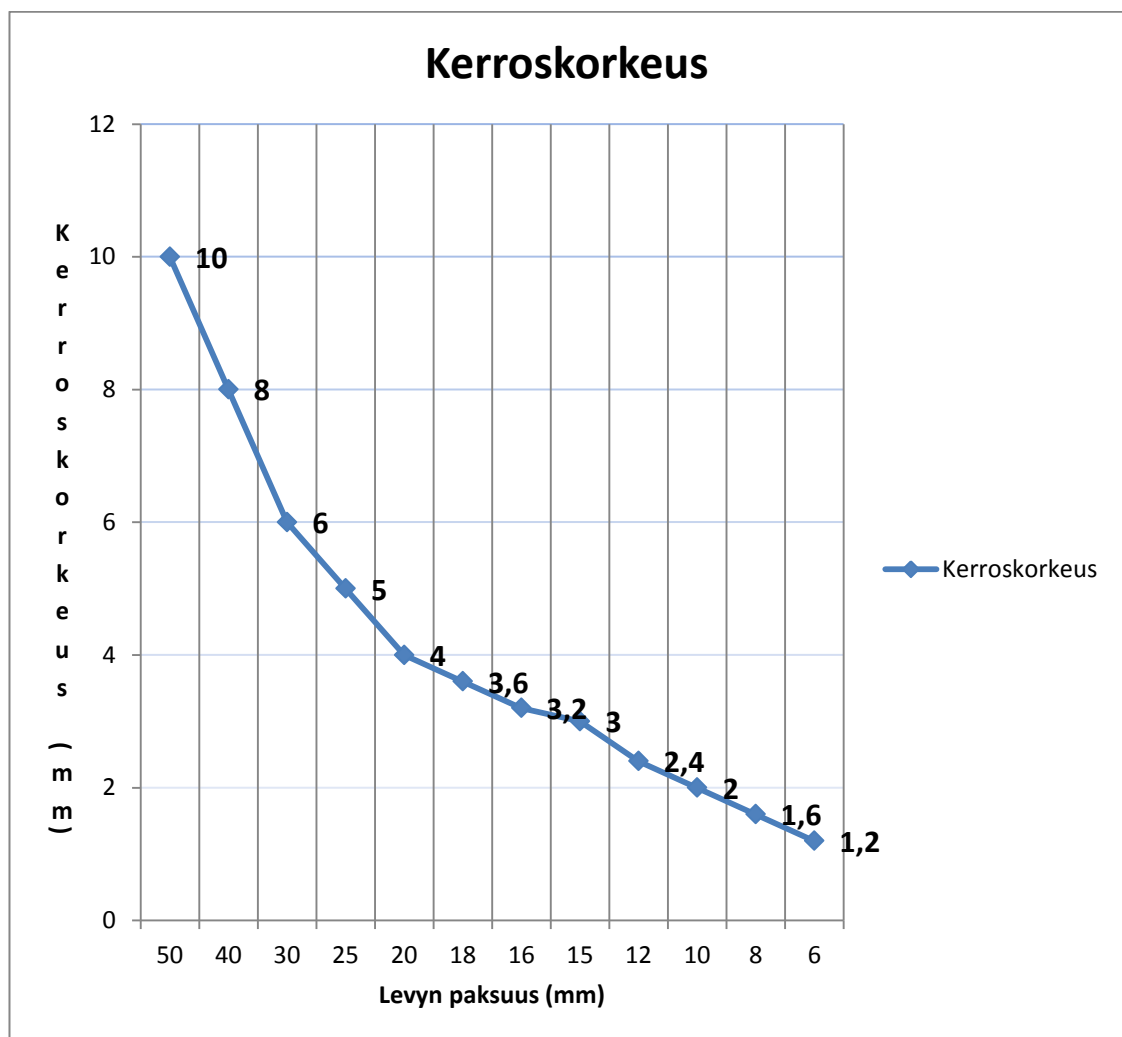
TSV-Insinöörit Oy. 1998. NESTIX2-CUTTING Käyttäjän käsikirja. Oulu.

LIITTEET

Liite 1: Viisteplasman viisteityksen käyttöohjeet

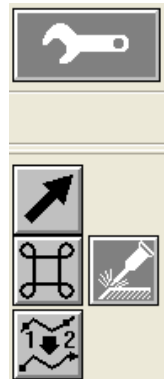
Soveltuvuusalueet:

- Leikkauspaksuus ei saa ylittää 60 mm.
- Viisteen pituus tulisi olla ulkopinnalla vähintään 200 mm.
- Kapeat ja pitkät kappaleet saattavat liikkua pöydällä, jolloin niiden reunojen viistämistä useammalla kuin yhdellä kerroksella ei suositella.
- Juuren tai viisteen korkeus tulee olla vähintään 20% kerrokskorkeudesta. Alla oleva taulukko kuvaa vähimmäispaksuuksia eri levynvahvuuksille.



Teknologia lisääminen (Nestix)

Ennen teknologian lisäämistä peilataan kappale niin, että viisteet leikataan yläpuolisena. Useampien ja molemminpuolisten viisteiden tapauksessa suurin kulma tulee yläpuoliseksi. Mikäli kappaleesta tehdään peilikuvia, tulee tilaus jakaa kahteen osaan tilauskantaan, joista toinen peilataan.



Viisteteknologia lisätään Parts-tilasta vieressä esitellyn painikkeen **Parts-Viiste** alta. Aukeavasta työkaluvalikosta otetaan ruksit pois kohdista kuvake **Muuttuva viiste, sekä Käsiviiste**. Levyn paksuus tarkistetaan, mikäli kappale on tallennettu tietokantaan tulee paksuus suoraan sieltä.

Kappaleesta valitaan aktiiviseksi pinnat joihin viisteteknologia halutaan lisätä. Valitsemalla useita viivoja kerralla, ei leikkausgeometriaan tule ylimääräisiä aloituskohtia. Tätä tulee käyttää erityisesti kaarissa. Suorissa ja terävissä kulmissa voidaan viisteteknologia lisätä viistettävälle reunoille erikseen, jolloin kulmat eivät sula.

Valitaan haluttu muoto viistevalikosta. Viistemuoto avaa asetettavat arvot kulmalle ja juurelle joilla viiste voidaan mitoittaa halutun kokoiseksi. Juuressa tulee noudattaa edellisen sivun taulukon mukaisia vähimmäispaksuuksia. Kun mitat ovat kohdillaan valitaan painike OK.

Viisteet mitoitetaan mitoitustyökalulla, jolloin myös tarkistetaan viisteen mitat sekä oikea leikkauspuoli. Värikoodit leikkauspuolelle ovat punainen alapuoliselle viisteelle ja keltainen yläpuoliselle sekä musta juurelle. Mitoitus päivittyy mikäli siihen linkitettyä viisteteknologiaa muutetaan.

Työvaihe viisteplasmalle on VHS, joissakin kappaleissa osa reunoista viistetään jälkityönä jolloin käytetään molempia viistetyövaiheita VHS+VI.

Sijoittelu ja leikkausteknologian lisääminen (Nestix)

Viistettävät kappaleet pyritään sijoittelemaan joko levyn alkuun tai loppuun. Tällöin voidaan suoraan leikattaville kappaleille vaihtaa perinteiset kulutusosat mahdollisimman nopeasti. Kappaleet tulee kääntää siten että viisteet leikattaisiin ensin, sekä viimeiseksi leikattava reuna olisi ehjän levyn puolella.

Viistettävillä kappaleilla käytetään suurempaa törmäytysväliä (15–30 mm) sekä aloitus- ja lopetuskohdat ovat pitempiä. Aloituskohtien pituus tulisi olla vähintään levyn paksuuden verran. Jokaiselle kerrokselle asetetaan erikseen aloitus- ja lopetuskulmat ja pituudet. Kulmissa suositellaan käytettäväksi suoraa lähtöä viisteen suuntaisesti, jolloin aloitusjälki on mahdollisimman pieni. Aloituskulma syötetään asteina jokaiselle viistettävälle kerrokselle. Sisäkiekkojen viistämisessä käytetään viisteen mukaista kulmalähtöä ja lopetusta, kaaren säde 3 – 5 mm.

Leikkaajan vastuu

Leikkaajan vastuulla viisteplasmalla on varmistaa leikkauslaadun tarkkuus mittaamalla viistekulmat ja juuren paksuus, sekä kappaleen äärimitat. Koneen kompensatiotaulukkoihin korjataan mahdolliset mittaheitot kappaleissa. Mikäli railokompensaatiolla ei saavuteta vaadittavaa tarkkuutta, tehdään vaadittavat muutokset kappaleen geometriaan suunnittelussa. Virheelliset kappaleet kirjataan ylös lukumäärineen ja virheineen, jonka jälkeen ne leikataan uudelleen. VHS työvaiheelle kuormitetut kappaleet kuitataan erikseen tehdyksi tuotannonohjausjärjestelmään.

Jälkiviistettävien kappaleiden ulkogeometriat tuodaan Asperiin sijoitteluraportista, tai tallennettuna .iso –muodossa. Kappaleen geometriasta aktivoidaan sivut joihin viisteet tehdään, sekä asetetaan haluttu kulma. Aloitukset mitoitetaan n. 1 mm päähän kappaleesta, jolloin plasmakaari osuu kappaleen reunaan. Kappale

paikoitetaan leikkauspöydältä optisella kameralla. Paikoituksen tehostamiseksi voidaan kappaleen ulkoreunat hioa kiiltäviksi, jolloin kamera erottaa ne paremmin ja nopeammin. Viisteet leikataan aina yläpuolelle, kappale käännetään tarvittaessa leikkauspöydällä. Jälkiviistettävien kappaleiden työvaihe on sama kuin levynleikkauksessa viistettävien, eli VHS.